

## RECOMMANDATION UIT-R F.1333

**ÉVALUATION DE L'ANGLE D'ÉLEVATION EFFECTIF D'UNE STATION  
DU SERVICE FIXE VERS UNE STATION SPATIALE COMPTE TENU  
DE LA RÉFRACTION DANS L'ATMOSPHÈRE**

(Question UIT-R 163/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, dans certaines études de partage de fréquences entre le service fixe et des services de radiocommunication spatiale, et notamment le service fixe par satellite, le service de radiodiffusion par satellite et le service de recherche spatiale, il est nécessaire d'évaluer divers facteurs liés à la propagation comme l'affaiblissement sur les trajets obliques dû aux gaz de l'atmosphère et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel;
- b) que les affaiblissements susmentionnés sont fonction de l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire) par rapport à une station du service fixe;
- c) qu'il est nécessaire d'établir une méthode de calcul simplifiée permettant d'évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale, compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère, lorsque l'angle d'élévation de la station spatiale n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide;
- d) qu'il convient généralement d'évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale dans les conditions de l'atmosphère de référence pour la réfraction définies dans la Recommandation UIT-R P.369-6 (Genève, 1994),

*recommande*

- 1** d'appliquer la méthode d'évaluation de l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire) par rapport à une station du service fixe dans les conditions de l'atmosphère de référence pour la réfraction définie dans la Recommandation UIT-R P.369-6 (Genève, 1994), méthode décrite à l'Annexe 1, lorsque l'angle d'élévation de la station spatiale n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide (Notes 1 et 2);
- 2** lorsque le modèle du coindice de réfraction dans l'atmosphère ne correspond pas à l'atmosphère de référence pour la réfraction définie dans la Recommandation UIT-R P.369-6 (Genève, 1994), de déterminer une formule numérique différente applicable au modèle en question (Note 3).

NOTE 1 – On peut, par exemple, appliquer les dispositions de la présente Recommandation pour évaluer l'affaiblissement sur les trajets obliques dû aux gaz de l'atmosphère et l'affaiblissement dû à l'occultation par zone de Fresnel, cette évaluation étant nécessaire pour l'application des dispositions de la Recommandation UIT-R F.1249.

NOTE 2 – L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R F.1108 donne un exemple de méthode permettant de calculer l'angle d'élévation d'une station spatiale non géostationnaire dans des conditions de propagation en espace libre et l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249 donne une méthode permettant de calculer l'angle d'élévation d'une station spatiale géostationnaire dans des conditions de propagation en espace libre.

NOTE 3 – L'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R SF.765 (et aussi l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249) donne des exemples de formules numériques permettant de calculer les facteurs de correction due à la réfraction correspondant au modèle  $N_0 = 400$  et  $\Delta N = -68$  (pour une correction dans les conditions de réfraction maximale) et au modèle  $N_0 = 250$  et  $\Delta N = -30$  (pour une correction dans les conditions de réfraction minimale), où  $N_0$  est le coindice de réfraction radioélectrique au niveau de la mer et  $\Delta N$  est le gradient (différence entre la valeur au niveau de la mer et la valeur à 1 km d'altitude), ces modèles étant utilisés pour déterminer l'angle de séparation entre l'axe du faisceau principal de l'antenne du service fixe et la direction de l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) (ou un point spécifique de l'OSG).

## Comment évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale lorsque l'angle d'élévation n'est connu que pour des conditions de propagation en espace libre

### 1 Introduction

Dans certains cas rencontrés dans les études de partage, l'angle d'élévation d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire), par rapport à une station du service fixe, n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide. En pareil cas, il est nécessaire d'évaluer l'angle d'élévation effectif, compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère. La méthode de calcul exposée dans la présente Annexe répond à ce besoin.

### 2 Visibilité de la station spatiale

Dans le cadre d'un modèle exponentiel de l'atmosphère pour la réfraction, par exemple celui qui est considéré dans la Recommandation UIT-R P.369-6 (Genève, 1994), le faisceau radioélectrique émis par une station du service fixe (à une altitude  $h$  (km) au-dessus du niveau de la mer et selon un angle d'élévation  $\theta$  (degrés)) est courbé vers la surface de la Terre en raison du phénomène de réfraction dans l'atmosphère. Le facteur de correction  $\tau$  (degrés) qui permet de tenir compte de cette réfraction est exprimé par l'intégrale suivante:

$$\tau = - \int_h^{\infty} \frac{n'(x)}{n(x) \cdot \operatorname{tg} \varphi} dx \quad (1)$$

dans laquelle  $\varphi$  est déterminé comme suit sur la base de la loi de Snell en coordonnées polaires:

$$\cos \varphi = \frac{c}{(r+x) \cdot n(x)} \quad (2)$$

$$c = (r+h) \cdot n(h) \cdot \cos \theta \quad (3)$$

où:

$r$ : rayon de la Terre (6 370 km)

$$n(x) = 1 + a \times \exp(-bx) \quad (4)$$

avec:

$$a = 0,000315$$

$$b = 0,1361.$$

La fonction  $n(x)$  exprime l'indice de réfraction de l'atmosphère en fonction de l'altitude  $x$  (km); les valeurs de  $a$  et de  $b$  correspondent à l'atmosphère de référence définie dans la Recommandation UIT-R P.369-6 (Genève, 1994). Par ailleurs,  $n'(x)$  est la dérivée de  $n(x)$ , c'est-à-dire qu'on a:  $n'(x) = -ab \times \exp(-bx)$ .

Les valeurs de  $\tau(h, \theta)$  (degrés) ont été évaluées dans les conditions de l'atmosphère de référence, et on a constaté que la formule numérique suivante donne une bonne approximation:

$$\tau(h, \theta) = 1 / [1,314 + 0,6437 \theta + 0,02869 \theta^2 + h(0,2305 + 0,09428 \theta + 0,01096 \theta^2) + 0,008583 h^2] \quad (5)$$

Cette formule est une approximation pour  $0 \leq h \leq 3$  km et  $\theta_m \leq \theta \leq 10^\circ$ ,  $\theta_m$  étant l'angle selon lequel le faisceau radioélectrique est juste intercepté par la surface de la Terre, angle qui s'exprime comme suit:

$$\theta_m = - \operatorname{arc} \cos \left( \frac{r}{r+h} \frac{n(0)}{n(h)} \right) \quad (6)$$

soit, approximativement,  $\theta_m = -0,875 \sqrt{h}$  degrés.

L'équation (5) donne également une approximation raisonnable pour le cas  $10^\circ < \theta \leq 90^\circ$ .

Considérons maintenant le cas d'une station spatiale présentant un angle d'élévation  $\theta_0$  (degrés) dans des conditions de propagation en espace libre. L'angle d'élévation minimal par rapport à une station du service fixe pour lequel le faisceau radioélectrique n'est pas intercepté par la surface de la Terre est  $\theta_m$ . Le facteur de correction de la réfraction correspondant à  $\theta_m$  est  $\tau(h, \theta_m)$ . Dans ce cas, la station spatiale n'est visible que lorsque l'inégalité suivante est vérifiée:

$$\theta_m - \tau(h, \theta_m) \leq \theta_0 \quad (7)$$

### 3 Evaluation de l'angle d'élévation effectif

Lorsque l'inégalité (7) est vérifiée, l'angle d'élévation effectif  $\theta$  (degrés), compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère, s'obtient par résolution de l'équation suivante:

$$\theta - \tau(h, \theta) = \theta_0 \quad (8)$$

Par définition, la solution de l'équation (8) s'écrit comme suit:

$$\theta = \theta_0 + \tau_s(h, \theta_0) \quad (9)$$

dans laquelle les valeurs de  $\tau_s(h, \theta_0)$  sont identiques à celles de  $\tau(h, \theta)$ , mais exprimées en fonction de  $\theta_0$ .

On obtient une bonne approximation de la fonction  $\tau_s(h, \theta_0)$  (degrés) avec la formule numérique suivante:

$$\tau_s(h, \theta_0) = 1 / [1,728 + 0,5411 \theta_0 + 0,03723 \theta_0^2 + h(0,1815 + 0,06272 \theta_0 + 0,01380 \theta_0^2) + h^2(0,01727 + 0,008288 \theta_0)] \quad (10)$$

Ainsi, la valeur de  $\theta$  donnée par l'équation (9) correspond à l'angle d'élévation effectif à utiliser pour l'évaluation de divers facteurs comme l'affaiblissement sur les trajets obliques et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel.

### 4 Résumé des calculs

*Première étape:* Désigner par  $\theta_0$  l'angle d'élévation d'une station spatiale dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide.

*Deuxième étape:* En utilisant les équations (5) et (6), déterminer si l'inégalité (7) est vérifiée ou non. Dans la négative, le satellite n'est pas visible, de sorte qu'aucun autre calcul n'est nécessaire.

*Troisième étape:* Si l'inégalité (7) est vérifiée, calculer  $\theta$  à l'aide des équations (9) et (10). La valeur obtenue est l'angle d'élévation effectif à utiliser pour l'évaluation de divers facteurs comme l'affaiblissement sur les trajets obliques et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel.